

5367-42

51

Int. Cl.:

H 05 b

BUNDESREPUBLIK DEUTSCHLAND

DEUTSCHES



PATENTAMT

52

Deutsche Kl.: 21 f, 89/03

10

11

21

22

43

# Offenlegungsschrift 2030 974

Aktenzeichen: P 20 30 974.4

Anmeldetag: 23. Juni 1970

Offenlegungstag: 7. Januar 1971

Ausstellungspriorität: —

30

Unionspriorität

32

Datum: 23. Juni 1969

33

Land: V. St. v. Amerika

31

Aktenzeichen: 835383

64

Bezeichnung: Elektrolumineszenter Körper

61

Zusatz zu: —

62

Ausscheidung aus: —

71

Anmelder: Western Electric Co. Inc., New York, N. Y. (V. St. A.)

Vertreter: Jackisch, Dipl.-Ing. W., Patentanwalt, 7000 Stuttgart

72

Als Erfinder benannt: Bergh, Arpad Albert, Murray Hill;  
Saul, Robert H., Scotch Plains; N. J. (V. St. A.)

Benachrichtigung gemäß Art. 7 § 1 Abs. 2 Nr. 1 d. Ges. v. 4. 9. 1967 (BGBl. I S. 960): —

DT 2030974

2030974

Western Electric Company Inc.

195 Broadway

New York, N.Y. 10007 / USA

A 31 745

23. Juni 1970

### Elektrolumineszenter Körper

Die Erfindung betrifft elektrolumineszente Körper.

Die Emission von innerhalb eines lumineszenten Festkörpers erzeugtem Licht ist durch die Erscheinung der totalen inneren Reflexion begrenzt. Lediglich solche Strahlen, welche die Festkörper/Umgebungs-Zwischenfläche in einem Winkel von weniger als dem kritischen Winkel ( $\theta_c$ ) gegenüber der Senkrechten erreichen, werden durchgelassen. Alle anderen Strahlen werden in den Festkörper total reflektiert. Für Galliumphosphid (GaP) mit einem Brechungsindex ( $n$ ) gleich 3,2 in dem sichtbaren Teil des emittierenden Spektrums wird beim ersten Versuch unter Voraussetzung eines Wertes  $\theta_c = 17,7^\circ$  weniger als 3 % des eine Fläche erreichenden Lichtes durchgelassen. Wenn das Material für seine eigene Strahlung mäßig oder hoch absorbierend ist (wie es bei Galliumarsenid der Fall ist) wird viel von dem in den Festkörper reflektierten Licht schnell absorbiert. Wenn das Material für seine eigene Strahlung verhältnismäßig transparent ist (wie dies für GaP der Fall ist), kann das reflektierte Licht den Festkörper nach aufeinanderfolgenden Reflexionen einige Male durchlaufen, bevor eine größere Absorption erfolgt. Wenn jedoch der Festkörper ein rechtwinkliges Parallelepiped mit glatten Flächen ist, gelangt das der inneren Totalreflexion unterworfenene Licht nicht aus dem Halbleiter heraus, da der Einfallswinkel bei jeder folgenden Reflexion erhalten bleibt.

Die Schwierigkeit könnte teilweise durch gewisse Verfahren, bei

spielsweise Schleifen und Polieren des Festkörpers in Form einer glatten Halbkugel seitigt werden, deren Durchmesser zwei- oder dreimal größer als der lichterzeugende Bereich an dem Mittelpunkt der ebenen Fläche ist. Diese Geometrie stellt sicher, daß alle nach oben gerichteten Strahlen die Oberfläche der Halbkugel in Winkeln von weniger als  $\theta_c$  gegenüber der Senkrechten treffen. Diese Methode wurde mit Erfolg auf Galliumarsenid angewendet (Appl. Phys. Lett. 3, 1963, 173), erfordert jedoch eine aufwendige maschinelle Bearbeitung und ergibt viel Abfallmaterial. Eine andere Lösung stellt die Einkapselung eines lichterzeugenden Wafers in einer halbkugeligen Kuppel aus einem Polymer von hohem Brechungsindex dar. Diese Methode ist teilweise erfolgreich, wird jedoch dadurch beschränkt, daß Polymere mit einem genügend hohen Brechungsindex zur Anpassung auf denjenigen des Festkörpers nicht zur Verfügung stehen.

Erfindungsgemäß ist ein elektrolumineszenter Körper einschließlich zumindest einer Körperfläche vorgesehen, deren Flächeninhalt über den geometrisch ebenen Flächeninhalt der Oberfläche um mehr als 50 % durch das Vorliegen von Unregelmäßigkeiten gesteigert wird.

Auf diese Weise wird das Problem der inneren Reflexion im vorliegenden Fall durch die Verwendung der Oberflächenunregelmäßigkeiten bekämpft, um die Winkelverteilung der Lichtstrahlung innerhalb des Körpers so zu steuern, daß mehr Licht in die Umgebung gelangt, und die Winkelverteilung des austretenden Lichtes ebenfalls zu steuern. Erfindungsgemäß sind verschiedene Verfahren möglich. Ein chemisches Verfahren umfaßt die Verwendung einer bevorzugten Ätzung, um eine zufällig raue Oberfläche zu erzeugen. Mechanische Verfahren umfassen die Anwendung des Schleifens oder Abziehens mit Sandstrahlflüssigkeit. Diese Verfahren sind beispielgebend für viele Möglichkeiten. Die Verwendung periodischer Unregelmäßigkeiten, beispielsweise maschinell hergestellter Nuten, ist in gewissen Fällen ebenfalls im Erfindungsgegenstand eingeschlossen.

Die willkürliche Aufrauhung der Oberfläche, von welcher Licht in die Umgebung auszustrahlen ist, hat zwei Wirkungen. Erstens wird die aufgerauhte Oberfläche ein diffuser Strahler, welcher dem Lambert'schen Gesetz gehorcht, was bedeutet, daß die Strahlungsdichte von der Senkrechten zu der Fläche wie der Cosinus des Winkels abfällt. Dies ergibt eine Konzentration des Emitterlichtes in der senkrechten Richtung. Zweitens wird das in den Festkörper reflektierte Licht in willkürlichen oder zufälligen Winkeln reflektiert. Es kann gezeigt werden, daß in einer ersten Näherung nicht mehr Licht von einer aufgerauhten Oberfläche beim ersten Einfall austritt als dies für eine glatte Oberfläche der Fall wäre. Da jedoch die Reflexionen bei zufälligen Winkeln erfolgen, wird ein Teil des Lichtes bei der zweiten oder folgenden Reflexion zu der aufgerauhten Oberfläche austreten. Dies steht im Gegensatz zu dem Fall einer glatten Fläche, welche die Reflexionswinkel bewahrt und das reflektierte Licht einzuschließen bestrebt ist. Die Nützlichkeit der verschiedenen Oberflächenbehandlungen bei verschiedenen besonderen Fällen ist nachfolgend in Verbindung mit der Zeichnung näher erläutert. Es zeigen:

Fig. 1 ein Ausführungsbeispiel einer elektrolumineszenten Diode mit polierter unterer Oberfläche sowie Seiten und einer aufgerauhten oberen Oberfläche nach Aufbringung auf eine Grundplatte,

Fig. 2 ein Ausführungsbeispiel einer elektrolumineszenten Diode mit polierter oberer Fläche und Seiten sowie einer aufgerauhten unteren Fläche nach Aufbringung auf eine Grundplatte,

Fig. 3 ein Ausführungsbeispiel einer elektrolumineszenten Diode mit polierter oberer Fläche und Seiten sowie einer unteren Fläche mit periodisch eingearbeiteten Nuten und Aufbringung auf eine Grundplatte,

Fig. 4 ein Ausführungsbeispiel einer elektrolumineszenten Mesadiode mit der dominierenden Strahlungsverteilung.

Ein Block, welcher durch Anreißen und Brechen einer dünnen polierten elektrolumineszenten Platte erzeugt wird, nähert sich rechtwinkligen Parallelepipeden an. Die Emission von diesem Block

wird stark begrenzt durch die innere Totalreflexion, wenn eine aufrauhende Oberflächenbehandlung nicht angewendet wird. Fig. 1 zeigt einen Block 10 in Verbindung mit einer Grundplatte 19. Ein Lichtstrahl 15, welcher durch einen Teil einer pn-Verbindung 11 erzeugt wird, unterliegt einer inneren Reflexion an einer Facette 12 der oberen Fläche, wodurch ein Strahl 16 entsteht. Dieser wird wiederum innen an einer inneren unteren Fläche 13 als Strahl 17 reflektiert und tritt an einer Facette 14 als Strahl 18 aus, da er auf diese Facette innerhalb eines Winkels  $\theta_c$  auffällt. Wenn die obere Fläche glatt wäre, würde der Strahl 15 von dort nicht ausgetreten sein. Im vorliegenden Fall wirkt die obere Fläche als diffuser Strahler.

Fig. 2 zeigt einen ähnlichen Block 20, welcher mit einer reflektierenden Platte 29 verbunden ist, wobei sich die aufgerauhte Seite neben der Platte 29 befindet. Hier wird ein an einer Verbindung 21 erzeugter Strahl 25 an einer Fläche 22 innen reflektiert. Der reflektierte Strahl 26 fällt auf eine Facette 23 und wird erneut reflektiert. Der reflektierte Strahl 27 wurde durch die Facette 23 neu orientiert und tritt aus dem Festkörper an einer Stelle 24 als Strahl 28 aus. Wiederum würde dieser Strahl 25 innerhalb des Festkörpers eingeschlossen werden, wenn eine der Flächen des Blockes nicht rauh wäre. Im vorliegenden Fall wirkt die untere Fläche im Sinne einer Reorientierung der innen reflektierten Strahlen, so daß mehr von diesen aus der oberen Fläche 22, 24 beim zweiten Mal sowie bei folgenden Auftreffvorgängen ausgetreten können, wenn sie auffallen. Eine Kombination einer Aufrauung der oberen Fläche gemäß Fig. 1 sowie der Aufrauung der unteren Fläche gemäß Fig. 2 stellt eine logische Erweiterung der obigen Betrachtungen dar.

Es wurden Messungen an einem angerissenen und gebrochenen Block unter Verwendung dreier mechanischer Aufrauverfahren durchgeführt, nämlich Sandstrahlen, Flüssigabziehen und Schleifen. In allen drei Verfahren werden Schleifteilklohen gegen die Oberfläche des aufzurauhenden Körpers gedrückt. Das Sandstrahlverfahren ver-

wendet einen Luftstrom zur Mitführung der Schleifeteilchen. Flüssigabziehen umfaßt die Verwendung eines Flüssigkeitsstromes als Träger. Beim Schleifen werden die Teilchen gegen den Körper durch eine feste Unterlageplatte gedrückt. Die Messungen zeigten Steigerungen von 10 - 100 % der Gesamtlichtausbeute von aufgerauhten Blöcken.

Betrachtungen ähnlich denjenigen nach Fig. 1, 2 erhält man in dem Fall von periodischen Unregelmäßigkeiten an der oberen oder unteren Blockfläche. Fig. 3 zeigt einen Block 30 mit periodischen Unregelmäßigkeiten an der unteren (verbundenen) Fläche 33. Ein Strahl 35 wird durch die untere Fläche 33 reorientiert und tritt an einer Stelle 34 als Strahl 38 aus.

Eine etwas verschiedene Gruppe von Bedingungen wird in dem Fall einer Mesastruktur gemäß Fig. 4 erfüllt. Hier ist die Struktur selbst genügend unregelmäßig, um einen Austritt des Lichtes nach einer Anzahl von Reflexionen zu ermöglichen, selbst dann, wenn alle Seiten glatt sind. Wenn jedoch eine Fläche der Struktur aufgerauht wird, erfolgt eine Steigerung der Lichtemission von dieser Fläche. Da eine zufällig raue Fläche als diffuser Strahler wirkt, erfolgt eine Konzentration des emittierenden Lichtes in einer Richtung senkrecht zu der aufgerauhten Fläche.

Die Mesastruktur nach Fig. 4 zeigt die Wirkungen des Eintauchens eines GaP-Kristalls in Hydrofluorsäure (HF). Bei dieser Struktur ist die PN-Verbindung 41 parallel zu einer (111) Kristallebene. Das Eintauchen in HF erzeugt eine Aufrauung an den Flächen 42, 43, welche parallel zu der (111) Ebene liegen. Messungen an solchen Einrichtungen zeigten typischerweise 40 % Steigerung des beobachteten Lichtes senkrecht zu der Verbindung 41 nach einem 15 Minuten dauernden Eintauchen der Struktur in konzentrierten HF bei Raumtemperatur, wobei die gesamte Lichtausbeute nicht wesentlich geändert wurde. Die Oberfläche zeigt einen visuell diffusen Charakter innerhalb Sekunden nach dem Eintauchen.

Der Erfindungsgegenstand kann zweckmäßigerweise auf elektrolumineszente Stoffe angewendet werden, welche einen hohen Brechungsindex aufweisen und für das Licht, das sie erzeugen, verhältnismäßig transparent sind. Solche Stoffe wie zum Beispiel GaP mit sehr hohem Brechungsindex ( $n = 3,2$  für GaP) sind durch die innere Totalreflexion einer wesentlichen Beschränkung unterworfen. Für anderer Stoffe von niedrigerem Brechungsindex ist  $\theta_c$  größer, so daß mehr Licht austreten kann und aus der Einführung von Oberflächen-Unregelmäßigkeiten weniger Vorteil gezogen werden kann. Wenn  $n = 1,4$  ist, beträgt der kritische Winkel  $\theta_c = 45^\circ$ , und alles Licht kann von einem vollendeten, glatten rechteckigen Parallelepipedkörper austreten. Kein Vorteil wird alsdann durch die Einführung von Oberflächen-Unregelmäßigkeiten erzielt.

Da bei dem ersten Einfall die Menge des durch eine unregelmäßige Oberfläche durchgelassenen Lichtes annähernd gleich der Durchlässigkeit durch eine glatte Oberfläche ist, kann aus der Einführung von Oberflächen-Unregelmäßigkeiten Vorteil lediglich dann gezogen werden, wenn die innen reflektierten Strahlen nicht stark abgeschwächt werden, sobald sie durch den Körper 10, 20, 30 und 40 verlaufen, wiederum reflektiert werden und zu der oberen Fläche zurückkehren. Die Zweckmäßigkeit dieser Ausbildung ist somit auf elektrolumineszente Körper beschränkt, innerhalb deren die Intensität eines Strahles um weniger als die Hälfte abgeschwächt wird, wenn der Strahl eine Weglänge gleich der dreifachen Dicke des Körpers durchmißt (ein Abstand annähernd gleich zwei Durchquerungen bei einem Winkel von größer als  $\theta_c$ ). GaP fällt gut in diese Grenze, wobei ein Strahl um lediglich 20 % in einer Weglänge gleich dem dreifachen Wert einer typischen Körperdicke entsprechend 0,325 mm abgeschwächt wird.

Elektrolumineszente Stoffe, welche verhältnismäßig transparent für die von innen erzeugte Strahlung sind, besitzen typischerweise einen indirekten halbleitenden Bandspalt, beispielsweise GaP. Stoffe mit direktem Bandspalt, beispielsweise Galliumarsenid (GaAs) zeigen eine um Größenordnungen höhere Abschwächung. Mischkristalle von GaP und GaAs zeigen einen graduellen Über-

gang von einem indirekten zu einem direkten Bandspalt. Die tatsächliche Überschneidung erfolgt bei 36 % GaP und 64 % GaAs (Semiconductors and Semimetals, Willardson & Beer, Seiten 9 und 151, Academic Press - 1966). Daher ist der Erfindungsgegenstand auf einen weiten Bereich solcher zur GaP-Familie gehörigen Mischkristalle sowie auch auf andere Stoffe mit indirektem Bandspalt anwendbar.

Um einen wesentlichen Einfluß auf die Winkelverteilung der Lichtstrahlen innerhalb und außerhalb des elektrolumineszenten Körpers zu haben, müssen die Oberflächen-Unregelmäßigkeiten eine maximale Winkelabweichung größer als  $\theta_c$  von der durchschnittlichen Oberflächenebene haben und einen beachtlichen Bruchteil der interessierenden Fläche belegen. Eine unregelmäßige Oberfläche, deren makroskopischer Bereich (gemessen in einem wesentlich größeren Maßstab als die zwischenatomaren Abstände) 50 % größer als der Flächeninhalt der geometrischen Oberflächenebene ist, fällt gut in diese Kriterien.

Der Vorschlag einer chemischen Aufrauhung in Verbindung mit MESA-Strukturen schließt, wie sich versteht, nicht die Nützlichkeit des Verfahrens in Verbindung mit Blockwafern aus. In ähnlicher Weise ist die mechanische Aufrauhung von MESAstrukturen wirksam zur Erzeugung der beschriebenen Ergebnisse. Die beispielsweise Verwendung von ebenen Dioden-Grenzschichtkonfigurationen in Fig. 1 - 4 ist auch nicht im Sinne einer Beschränkung zu verstehen, da die Einführung von anderen Dotierungskonfigurationen in den Festkörper zur Erzeugung elektrolumineszenter Dioden mit anderen gewünschten Kennwerten oder zur Erzeugung von vielen Anschlüssen aufweisenden elektrolumineszenten Strukturen (insbesondere Transistoren) das optische Verhalten der umgebenden Festkörperzwischenfläche nicht wesentlich ändert. Auch solche Einrichtungen sind daher vom Erfindungsgegenstand umfaßt.

Die Erfindung geht also davon aus, daß die Lichtemission von einem einen hohen Brechungsindex aufweisenden elektrolumineszenten Körper durch die Erscheinung der inneren Totalreflexion begrenzt wird. Erfindungsgemäß wurde erkannt, daß für Einrichtungen aus



diesen Stoffen, welche transparent für ihre eigene Strahlung sind, beispielsweise GaP, die Emission von einer Oberfläche wesentlich gesteigert werden kann, indem diese Oberfläche rauh oder unregelmäßig gemacht wird. Auch die räumliche Verteilung des emittierenden Lichtes kann durch die Auswahl rauher und glatter Flächen beeinflusst werden. Es sind chemische und wahlweise mechanische Aufrauungsverfahren vorgesehen. Eine Steigerung des Oberflächenbereiches von mehr als 50 % durch Aufrauen steigert wesentlich die Lichtemission.

A n s p r ü c h e :

- ① Elektrolumineszenter Körper, gekennzeichnet durch zumindest eine Körperoberfläche, deren Flächeninhalt über den geometrisch ebenen Flächeninhalt der Oberfläche um mehr als 50 % mittels vorliegender Oberflächen-Unregelmäßigkeiten gesteigert ist.
2. Körper nach Anspruch 1, gekennzeichnet durch Zusammensetzung aus einem Material in der Galliumphosphid-Familie einschließlich einer pn-Grenzfläche.
3. Körper nach Anspruch 2, dadurch gekennzeichnet, daß die Unregelmäßigkeiten durch Eintauchen des Körpers in ein bevorzugtes Ätzmittel erzeugt sind.
4. Körper nach Anspruch 3, dadurch gekennzeichnet, daß das bevorzugte Ätzmittel im wesentlichen aus Hydrofluorsäure zusammengesetzt ist.
5. Körper nach Anspruch 2, dadurch gekennzeichnet, daß die Unregelmäßigkeiten durch Schleifen der Fläche hergestellt sind.
6. Körper nach Anspruch 2, dadurch gekennzeichnet, daß die Unregelmäßigkeiten durch Sandstrahlen der Oberfläche hergestellt sind.
7. Körper nach Anspruch 2, dadurch gekennzeichnet, daß die Unregelmäßigkeiten durch Flüssigabziehen der Oberfläche hergestellt sind.

10  
Leerseite

21 f 39-03 AT: 23.06.1970

OT: 07.01.1971

2030974

-11- FIG. 1

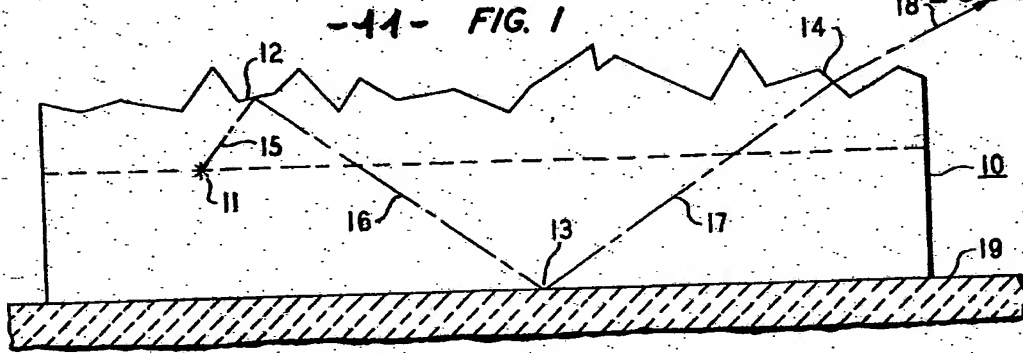


FIG. 2

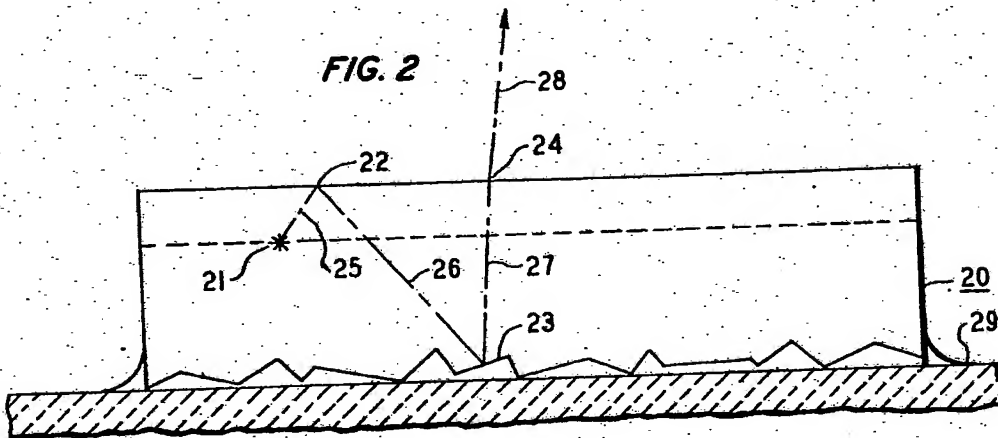


FIG. 3

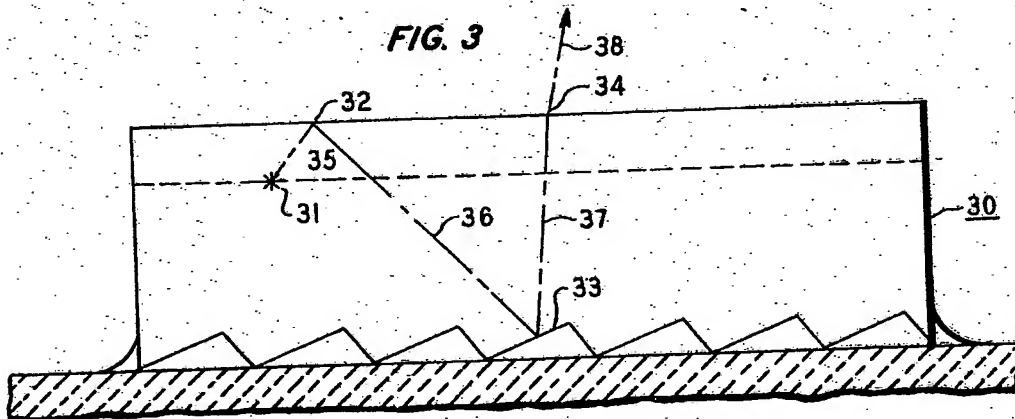
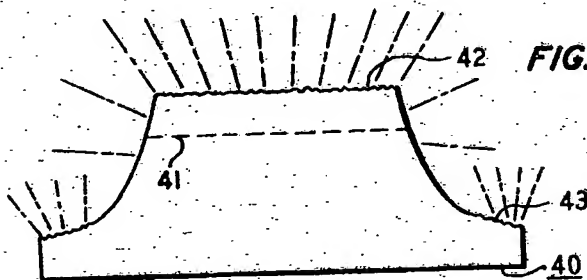


FIG. 4



009882/1579

ORIGINAL INSPECTED